

미진동파쇄기를 이용한 표준암반파쇄굴착공법에 관한 연구

김영근¹⁾, 김일중¹⁾, 기경철²⁾

A Study on the Standard Rock Fracture Method Using the Finecker Plus

Young-Geun Kim, Il-Jung Kim and Kyung-Chul Ki

Abstract : In this study, the standard particle velocity equations and the equation for calculating specific charge weight with application of rock fracture method using the finecker plus are suggested and the existing equation of fragmentation was transformed into one applicable to finecker plus. Standard rock fracture pattern was designed. Square root scaled equation is $V=345.39(D/\sqrt{W})^{-1.488}$, computable equation to specific charge weight is $W_f=(2.3\sim 2.5)f_a g d V$, charge weight per hole is 0.54kg, and proportion of diameter 30cm fragmentation is about 48.7%. This rock fracture method may turn out to be more excellent than the other methods.

Key words : finecker plus, specific charge weight, fragmentation, square root scaled equation

초록 : 본 연구에서는 미진동파쇄기를 이용한 암반파쇄굴착공법의 기준 진동식과 암 분류에 따른 비장약량 산출식을 도출하였고 기존의 파쇄입도비율 산출식을 미진동파쇄기에 적합하도록 변환하였다. 그리고 표준 암반파쇄패턴과 실시설계에 적용할 수 있는 공당장약량을 결정하였다. 그 결과 자승근 환산식은 $V=345.39(D/\sqrt{W})^{-1.488}$, 비장약량 산출식은 $W_f=(2.3\sim 2.5)f_a g d V$, 실시설계에 적용할 수 있는 공당장약량은 0.54kg, 직경 30cm의 파쇄입도비율은 약48.7%로 산출되었다. 본 암반파쇄굴착공법은 타 공법에 비해 현장 적용성이 탁월한 것으로 사료된다.

핵심어 : 미진동파쇄기, 비장약량, 파쇄, 자승근 환산식

1. 서 론

산업발달과 더불어 지하공간개발, 도로개설, 터널굴착, 구조물 터파기 등의 토목 및 건설 분야가 활성화됨에 따라 암반절취 공사의 비중이 점차 증가하고 있다.

좁은 국토를 효율적으로 이용하기 위하여 기존 구조물이나 시설물에 근접하여 암반절취 작업이 진행되고 있음은 물론 도시 근교나 산중에 산재되어 있는 여러 축종의 축사부근에서 암반절취 작업이 빈번해짐에 따라 시공의 안전성과 환경친화성이 충분하지 못해 암반절취 공해에 의한 여러 문제가 발생되고 있다.

기존의 폭약을 사용한 발파공법은 진동·소음·

비산 등으로 인한 안전성문제로 사용상의 많은 제약이 따르고 있다. 폭약을 사용한 제어발파공법 적용이 불가능한 지역에서는 유압장비 또는 팽창성과 쇄재를 사용하여 암반을 절취함으로써 기존 구조물이나 시설물 및 가축의 안전문제에 대처하고 있으나, 시공성이 극히 불량하여 공기 증가와 함께 막대한 직접 공사비를 투입해야하는 문제점이 있다.

따라서 본 연구에서는 일반폭약의 사용상의 제약을 받는 장소에서 미진동파쇄기(Finecker Plus)를 안전하고 효율적이며 경제적으로 사용할 수 있는 방법을 도출하는데 목적이 있다.

2. 연구방향

미진동파쇄기(Finecker Plus)를 이용한 현장시험을 통해 다음과 같은 내용을 연구하였다.

1) 파쇄시험을 통한 암반분류에 따른 표준 비장약량 산출식 도출

1) 앤-토비 기술사사무소

2) 한국산업인력공단

접수일 : 2005년 3월 12일

- 2) 파쇄시험을 통한 기준 진동 추정식 도출
- 3) 암반분류와 암반상태에 따른 암반상태계수에 대한 고찰
- 4) 암반분류와 암반상태에 따른 소할비율 산출식 고찰
- 5) 암반분류에 따른 표준파쇄패턴 설계
- 6) 타 공법과의 현장 적용성 비교 검토

여기서, f_a : absolute strength coefficient of finecker plus, g : resistance coefficient of rock, d : stemming coefficient, V : volume of fracture rock(1.0m³), W_f : specific charge weight(kg/m³)

(1)식의 상수는 Finecker Plus의 비장약량을 산출하기 위하여 시험을 통해 결정된 수치이다.

3. 표준 비장약량

3.1 표준 비장약량 산출식

시험결과 Finecker Plus의 절대 위력계수와 암석의 항력계수 및 전색계수를 이용하여 파쇄암 1.0 m³에 대한 Finecker Plus의 비장약량을 산출하기 위한 실험식을 다음과 같이 도출하였다.

$$W_f = (2.3 \sim 2.5) \cdot f_a \cdot g \cdot d \cdot V \quad (1)$$

3.2 표준 비장약량 산출

암분류 별 Finecker Plus의 비장약량 적용은 Table 2와 같다.

4. 시험파쇄 및 설계

Finecker Plus를 이용하여 시험파쇄하기 위한 대상암반으로 극경암, 경암, 보통암 및 연암지역을 선택하였으며, Finecker Plus의 회당 표준장약량을

Table 1. 절대위력계수와 암석 항력계수

화 약 류	절대 위력계수* (f_a)	암석 항력계수* (g)					비 고
		극 경 암	경 암	보 통 암	연 암	풍 화 암	
Finecker Plus	0.230	1.20 이상	1.00~1.20<	0.80~1.00<	0.70~0.80<	0.40~0.70<	신선 균질암

* ANFO Plus 위력계수 역수의 약1/2정도

* 암석항력계수는 암석강도의 약(0.00085±0.00015)배 범위

Table 2. 표준 비장약량의 범위

암 분 류	극 경 암	경 암	보 통 암	연 암	풍 화 암	비 고
비장약량 W_f (kg/m ³)	0.69 이상	0.53~0.69< (0.61)	0.42~0.53< (0.48)	0.37~0.42< (0.40)	0.21~0.37< (0.29)	()안은 평균치임

Table 3. 시험파쇄지역 및 대상암반 특성

시험대상 지역	반발치 (R)	일축압축강도 (MPa)	인장강도 (Mpa)	탄성파속도 (km/sec)	암분류	비 고
태인-00간도로 아파트 현장	57~59	173.6	88.3	6.5	극경암	Rock Test Hammer 타격각도
00 석산-1	57~59	147.1	73.5	5.2	경 암	
00 석산-2 아파트 현장	50~53	115.7	58.8	4.3	보통암	-00석산-1지역 : -45°
안성-00간도로	46~48	79.4	41.2	3.1	연 암	-기타 지역 : -90°

결정하기 위해 에멀전류 폭약(NewMITE Plus-I)을 사용한 시험발파도 병행하였다.

4.1 시험파쇄 대상암반 특성

시험파쇄를 위한 대상암반의 특성은 Table 3과 같다.

4.2 암반시험파쇄 설계

1) 시험파쇄 비장약량 및 파쇄패턴

식(1)을 이용하여 시험대상 암반에 대한 Finecker Plus의 비장약량 및 파쇄제원을 산출하면 Table 4, 5, 6과 같다.

Table 4. 암반분류별 암석항력계수 및 비장약량

상 수	절대 위력계수 (f_a)	암석 항력계수(g)				비 장약량(kg/m)				비 고
		극경암	경 암	보통암	연 암	극경암	경 암	보통암	연 암	
2.40	0.23	1.35	1.12	0.92	0.77	0.74	0.62	0.50	0.43	완전전색

Table 5. 천공 및 장약제원(Finecker Plus)

암분류	회 당 장약량 W(kg)	공 당 장약량 (kg)	계단 높이 H(m)	천공장 L(m)	공간격 S(m)	최소 저항선 B(m)	파쇄 횟수	회당 공수	총 파 쇄		전색 길이 (m)	장약 길이 (m)
									횟수	공수		
극경암	1.080	0.360	1.65	1.85	0.65	0.45	6	3	6	18	1.19	0.66
	0.900	0.360	1.65	1.85	0.65	0.45	1	2	1	3	1.19	0.66
		1						1.52			0.33	
	0.720	0.360	1.65	1.85	0.65	0.45	9	2	9	18	1.19	0.66
	0.540	0.180	1.22	1.35	0.50	0.40	1	3	1	3	1.02	0.33
0.360	0.180	1.22	1.35	0.50	0.40	5	2	5	10	1.02	0.33	
경 암	1.08	0.54	1.80	2.05	0.80	0.60	4	2	4	8	1.06	0.99
	0.54	0.54	1.80	2.05	0.80	0.60	2	1	2	2	1.06	0.99
	0.18	0.18	1.27	1.45	0.50	0.45	11	1	11	11	1.12	0.33
보통암	1.08	0.36	1.72	1.95	0.75	0.55	5	3	5	15	1.29	0.66
	0.54	0.18	1.35	1.55	0.60	0.45	5	3	5	15	1.22	0.33
연 암	0.90	0.18	1.40	1.60	0.65	0.45	4	5	4	20	1.27	0.33
	0.72	0.18	1.40	1.60	0.65	0.45	19	4	19	72	1.27	0.33
	0.54	0.18	1.40	1.60	0.65	0.45	5	3	5	15	1.27	0.33
	0.36	0.18	1.40	1.60	0.65	0.45	6	2	6	12	1.27	0.33
	0.18	0.18	1.40	1.60	0.65	0.45	1	1	1	1	1.27	0.33

Table 6. 천공 및 장약제원(NewMITE Plus-I)

암분류	지발당 장약량 W(kg)	공 당 장약량 (kg)	계단 높이 H(m)	천공장 L(m)	공간격 S(m)	최소 저항선 B(m)	발파 횟수	회당 공수	총 발 파		사용 너관 (MS)	전색 길이 (m)	장약 길이 (m)
									횟수	공수			
극경암	2.40	0.80	2.00	2.30	1.15	0.85	3	3	3	9	#0	1.920	0.380
	1.60	0.80	2.00	2.30	1.15	0.85	5	2, 4	5	12	#0, #2	1.920	0.380
	0.80	0.80	2.00	2.30	1.15	0.85	7	1, 2	7	9	#0, #2	1.920	0.380
보통암	0.75	0.25	1.45	1.65	0.85	0.60	4	3	4	12	#0	1.355	0.295
	0.50	0.25	1.45	1.65	0.85	0.60	4	2, 4	4	10	#0, #2	1.355	0.295
	0.25	0.25	1.45	1.65	0.85	0.60	4	1, 2	4	6	#0, #2	1.355	0.295

4.3 암반시험파쇄 진동계측

본 시험파쇄 및 발파에 사용한 진동계측기는 발파공해전용 측정기로서 그 제한 중 지반진동속도는 3개 방향(L : 종방향, T : 횡방향, V : 수직방향)의 것과 실 벡터합(true vector sum) 및 발파풍(또는 소음)을 동시에 계측할 수 있고, 이력시간(time history)이 기록되는 Canada InstanTel사 제품인 DS-477 및 677, DS-077의 계측기와 PMT사 제품인

eXAD-8계측기를 사용하였다. Table 7, 8에는 측정 결과가 나타나있다.

5. 암반파쇄진동 분석

시험파쇄를 통해 계측한 자료들을 분석하여 Finecker Plus를 사용한 파쇄진동의 크기와 NewMITE Plus-I을 사용한 발파진동의 크기를 예

Table 7. 파쇄진동속도 계측치(Finecker Plus)

암분류	거리 범위 (m)	회 당 장약량 (kg)	진동속도 범위 (mm/sec)	회 당 장약량 (kg)	진동속도 범위 (mm/sec)	회 당 장약량 (kg)	진동속도 범위 (mm/sec)
극경암	8.6~17.5	0.36	1.91~4.79	0.54	4.75~9.76	0.72	3.49~11.70
		0.90	5.37~9.37	1.08	3.38~14.50	-	-
	20.89~34.47	0.36	0.413~2.37	0.54	1.25~1.51	0.72	1.22~2.64
		0.90	1.57~2.24	1.08	1.24~3.40	-	-
	36.5~41.17	0.36	0.556~1.17	0.54	1.40	0.72	1.37~1.98
		0.90	1.56	1.08	1.05~2.87	-	-
경 암	4.0~22.0	0.18	0.353~8.947	0.54	0.980~2.901	1.08	0.645~11.332
	23.0~30.0	0.18	0.307~0.536	0.54	0.634~1.142	1.08	0.407~4.255
보통암	1.0~8.0	0.54	7.29~14.92	1.08	13.75~35.44	-	-
	10.0~18.0	0.54	2.19~4.84	1.08	1.57~4.79	-	-
	20.0~38.0	0.54	0.66~1.21	1.08	1.03~1.59	-	-
연 암	5.0~19.7	0.18	0.561~1.209	0.36	0.787~15.876	0.54	0.699~21.141
		0.72	1.019~15.716	-	-	-	-
	20.7~29.7	0.36	0.592~1.279	0.54	0.684~1.578	0.72	0.568~1.939
	30.5~40.0	0.72	0.533~1.084	0.90	0.508~1.870	-	-
	50.0~60.0	0.90	0.238~0.619	-	-	-	-

Table 8. 발파진동속도(NewMITE Plus-I)

암분류	거리 범위 (m)	지발당 장약량 (kg)	진동속도 범위 (mm/sec)	지발당 장약량 (kg)	진동속도 범위 (mm/sec)	지발당 장약량 (kg)	진동속도 범위 (mm/sec)
극경암	17.06~21.43	0.800	4.54~17.4	1.600	6.16~14.5	2.400	9.43~14.5
	31.09~36.0	0.800	5.92~18.2	1.600	4.71~15.6	2.400	7.78~11.0
	68.49~75.0	0.800	0.937~2.6	1.600	2.83~5.23	2.400	5.38~5.73
	118.20~125.0	0.800	0.206~0.476	1.600	0.238~0.857	2.400	0.540~0.826
	184.3~190.0	0.800	0.206~0.460	1.600	0.270~0.619	2.400	0.572~0.730
보통암	18.80~32.47	0.25	2.57~3.81	0.50	1.54~7.51	0.75	5.87~21.4
	46.24~62.05	0.25	0.413~1.86	0.50	0.556~4.64	0.75	1.17~4.51
	69.54~70.93	0.25	0.413~0.857	0.50	0.651~1.840	0.75	1.68~2.06

측할 수 있는 자승근 환산식, 삼승근 환산식, 그리고 회당장약량 및 계측거리를 각각 독립변수로 한 일반식을 도출하였다.

일반식에서 거리에 해당하는 변수 D 의 지수가 “-”값을 갖고, 지발당장약량에 해당하는 변수 W 의 지수가 “+”의 값을 가져야만 통계분석에 이용한 계측자료를 신뢰할 수 있다.

5.1 미진동파쇄기(Finecker Plus)

실시설계에 적용할 수 있는 기준식을 도출하기 위하여 암분류 별로 실시한 시험파쇄에서 얻은 계측자료를 통합하여 회귀 분석하였으며, 그 결과 기준 진동 추정식은 Table 9와 같다.

Table 9. 미진동파쇄기 기준식

식구분	신뢰수준 95%	비 고
자승근 환산식	$345.39 \left(\frac{D}{W^{1/2}}\right)^{1.1181}$	속도 단위 mm/sec
삼승근 환산식	$342.67 \left(\frac{D}{W^{1/3}}\right)^{1.1700}$	
일반식	$335.57 \cdot W^{0.7986} \cdot D^{1.4266}$	

Fig.1과 Fig.2는 각각 자승근과 삼승근 환산식을 나타내고 있으며, 상관계수(R)는 각각 0.879, 0.864, 표준오차(SE)는 0.195215, 0.206722이다.

5.2 에벌전류 폭약(NewMITE Plus-I)

암 분류별로 실시한 시험파쇄에서 얻은 계측자료를 통합하여 회귀 분석하였으며, 그 결과 종합분석한 진동 추정식은 Table 10과 같다. 속도단위는 mm/sec이다

Fig.3과 Fig.4는 각각 자승근과 삼승근 환산식을 나타내고 있으며, 상관계수(R)는 각각 0.908, 0.907, 표준오차(SE)는 0.231435, 0.232354이다.

Table 10. 에벌전류 폭약 진동 추정식

식구분	신뢰수준 95%
자승근 환산식	$3503.10 \left(\frac{D}{W^{1/2}}\right)^{-1.5934}$
삼승근 환산식	$3883.44 \left(\frac{D}{W^{1/3}}\right)^{-1.6335}$
일반식	$3801.52 \cdot D^{-1.6231} \cdot W^{0.6829}$

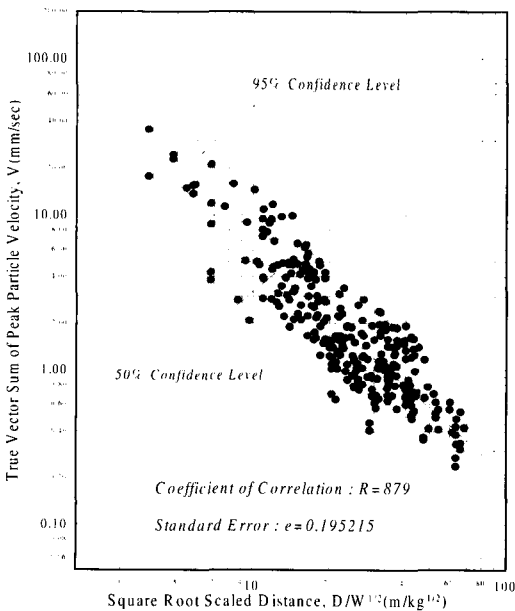


Fig. 1. Relationship between true vector sum and square root scaled distance (Finecker Plus).

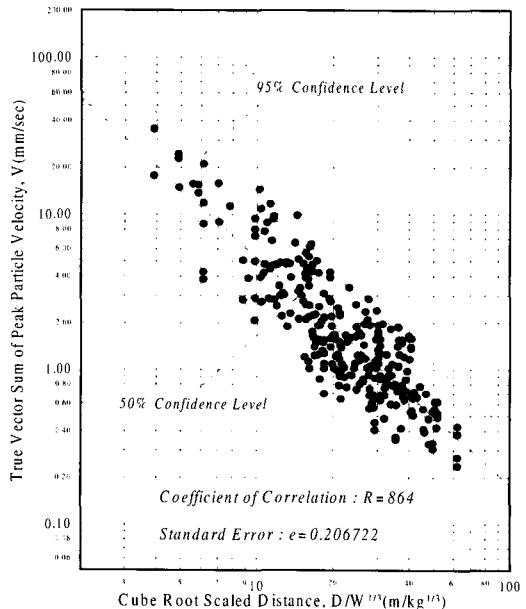


Fig. 2. Relationship between true vector sum and cube root scaled distance(Finecker Plus).

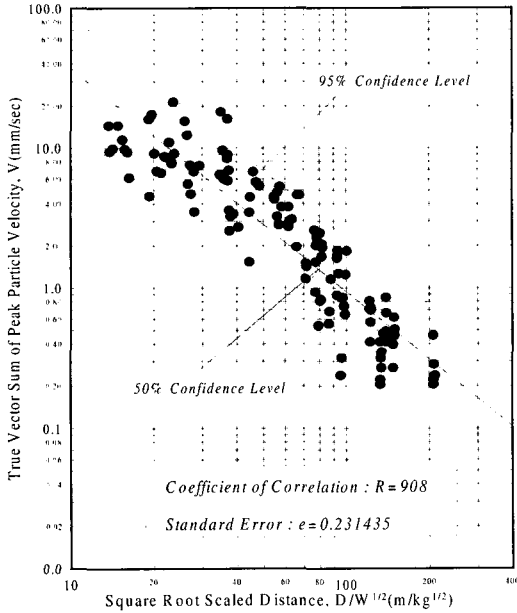


Fig. 3. Relationship between true vector sum and square root scaled distance (NewMITE Plus-I).

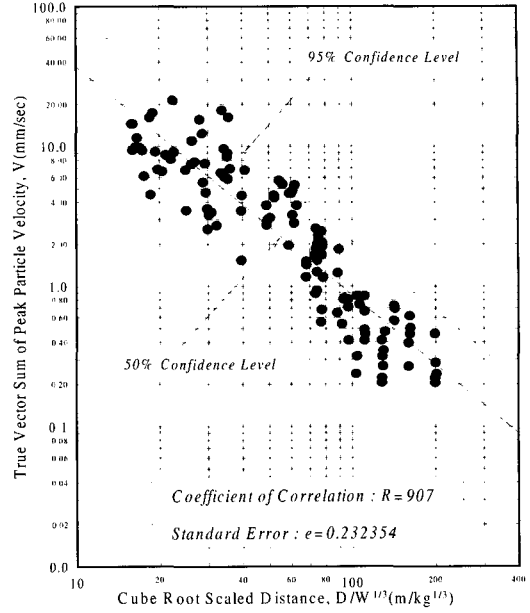


Fig. 4. Relationship between true vector sum and cube root scaled distance(NewMITE Plus-I).

5.3 건교부 제안식 및 논문 발표식(일반폭약)

국내 노천 및 석산개발현장에서 계측된 1671개의 발파진동 계측자료 등 총1701개의 자료를 분석하여 얻은 진동속도 추정식¹⁾과 건교부 제안식²⁾은 다음과 같다. 속도단위는 mm/sec이다.

Table 11. 일반폭약의 진동 추정식

식구분	적 용 식	
자승근 환산식	논문 발표식	$1720(\frac{D}{W^{1/2}})^{-1.440}$
	건교부 제안식	$1600(\frac{D}{W^{1/2}})^{-1.600}$

6. 암석 파쇄입도 예측

6.1 Kuz-Ram Model의 변환

파쇄암의 입도를 예측하기 위해 Cunningham은 Kuz-Ram의 식에 TNT외의 다른 폭약을 사용하는 경우의 실험식을 탄동구포비(RWS)를 이용하여 제안하였다.³⁾

즉 암반파쇄 후 파쇄된 암석을 일정 눈의 크기를 가지는 체(screen)에 통과 시켰을 때 체를 통과하지 못하고 체위에 남게 되는 비율(R)을 산출하기 위해 제안한 식을 화약직경, 탄동구포비, 비장약량 및 암반상태계수 항에 대하여 일부 변경 및 보완하여 제시하였다.

$$R = e^{-(ss/sc)^n} \tag{2}$$

$$fs = N(W/V)^{-0.8} \cdot W^{0.17} \cdot (E_t)^{-0.73} \tag{3}$$

$$n = (2.2 - 14 \cdot B/d) \cdot (1 - B_1/B) \cdot [1 + (S/B - 1)/2] \cdot G/H \tag{4}$$

여기서, ss : 체 눈 크기(cm), B : 저항선(m), S : 공간격(m), H : 계단높이(m), L : 천공장(m), fs : 평균 입자크기(cm), n : uniformity index, N : 암반상태 계수, sc : $fs / (0.693)^{1/n}$, d : 약 경(mm), B₁ : 천공오차(m), G : 바닥자유면 상부 장약장(m), V : 공당 절취암량(m³), W : 공당 장약량(kg), E_t : $\frac{E/100}{\text{표준 비장약량/실 비장약량}}$, E : 탄동구포 비(45%)

1) 화약직경 향에 의한 영향

일반폭약의 발파공경을 미진동파쇄기를 이용하는 경우 화약직경으로 변환할 시 파쇄입자의 크기는 천공경을 적용하는 경우에 비해 파쇄입자의 크기가 약간 크게 되는 경향이 있다. 즉 일반폭약은 장약 후 다짐질을 함으로서 디커플링지수(decoupling index)가 1.0에 가까워져 천공경을 하나의 요소로 적용하고 있으나, 미진동파쇄기는 일반폭약과 같이 다짐하기 어려우므로 천공경 대신 미진동파쇄기의 직경으로 대처하는 것이 적절한 것으로 사료된다.

2) 공간격의 비에 의한 영향

천공간격의 비(공간격/저항선)가 클수록 파쇄입도는 작아지는 경향이 있다. 공간격보다 저항선의 길이가 길면 큰 파쇄입도를 얻을 수 있을 것이다. 단 본 식을 사용하는 경우 천공간격의 비는 2.0이 내로 한정한다.

3) 비장약량에 의한 영향

표준 비장약량보다 적은 약량을 사용하는 경우(약장약) 큰 파쇄입자를 얻을 수 있으며, 많은 약량을 사용하는 경우(과장약) 작은 파쇄입자를 얻을 수 있을 것이다. 즉 공당(비) 장약량이 증가할수록 과장약이 되며, 식(4)의 H/G 의향에도 영향을 미쳐 파쇄입도는 작아지는 경향이 있다.

4) 암반상태계수

암반의 상태가 동일한 경우에도 암 분류에 따라 파쇄입도가 변화될 수 있도록 조정하였다. 즉 암반에 균열수가 동일한 경우에도 암석의 강도가 높을수록 파쇄입자가 커지고 균열밀도가 높을수록 파쇄입자가 작아지도록 구현했다.

Table 12. 암반상태계수(N)

교차균열수 (개/m ²)	6~8	5	4	3	1~2
점 수	0.5	3.0	5.0	7.0	10.0
극경암(6.0)	3.0	18.0	30.0	42.0	60.0
경 암(3.0)	1.5	9.0	15.0	21.0	30.0
보통암(2.0)	1.0	6.0	10.0	14.0	20.0
연 암(1.0)	0.5	3.0	5.0	7.0	10.0
풍화암(0.5)	0.25	1.5	2.5	3.5	5.0

절취대상암반의 단위 체적당 교차균열의 수와 암 분류에 따른 각각의 점수를 부여하여 산출한 암반상태계수는 다음과 같다.

7. 결과 고찰

7.1 진동속도

Fig.5는 미진동파쇄기 기준식, 전해질 식, 종합 분석식(에멀전류 폭약), 논문 발표식(일반폭약) 및 건교부 제안식의 자승근 환산거리에 따른 진동속도를 나타내고 있으며, Table 13에 자승근 환산거리 20, 40, 60, 80 및 100에 대한 진동속도를 나타냈다. 속도단위는 mm/sec이다.

Table 13. 환산거리별 진동속도

식 구분	자승근 환산거리($D/W^{1/2}$)				
	20	40	60	80	100
미진동파쇄기 기준식	4.51	1.65	0.92	0.61	0.44
전해질 식	9.96	2.73	1.28	0.75	0.49
종합 분석식 (에멀전류폭약)	29.61	9.81	5.14	3.25	2.28
논문 발표식 (일반폭약)	23.02	8.48	4.73	3.13	2.27
건교부 제안식	13.26	4.37	2.29	1.44	1.01

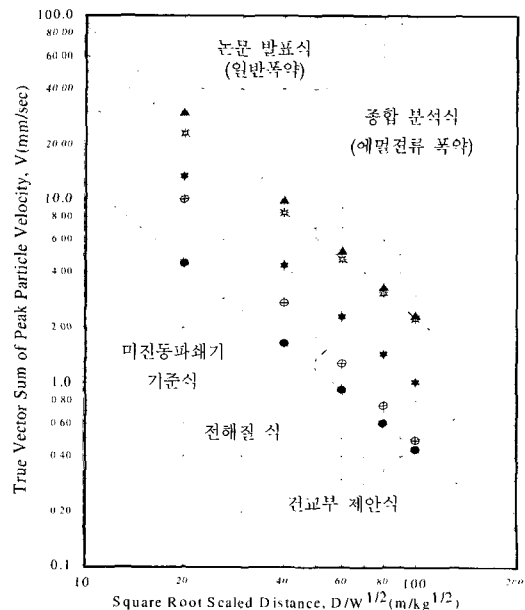


Fig. 5. True vector sum with the equations.

일반폭약에 대한 진동 추정식 중에서 건교부 제안식이 동일한 환산거리에서 가장 낮은 진동이 전파되는 것으로 계산되나 미진동파쇄기는 이보다 약2.3~2.9배정도 더 낮게 진동이 전파됨을 알 수 있다.

따라서 미진동파쇄기는 다른 기폭물질에 비해 동일한 환산거리에 낮은 진동이 전파되는 특성을 가지도 있다.

7.2 회(지발)당 최대허용장약량

신뢰수준 95%에 해당하는 자승근 환산식의 허용진동속도 3.0mm/sec에 대한 회(지발)당 최대허용장약량은 다음과 같다.

Table 14. 회(지발)당 장약량

거리 D(m)	일반폭약			미진동 파쇄기 기준식
	건교부 제안식	논문 발표식	종합 분석식	
5	0.01	0.0037	0.0035	0.0356
10	0.04	0.015	0.014	0.143
15	0.09	0.03	0.032	0.321
20	0.16	0.06	0.057	0.570
25	0.24	0.09	0.088	0.891
30	0.35	0.13	0.13	1.283
35	0.48	0.18	0.17	1.746
40	0.62	0.24	0.23	2.280
45	0.79	0.30	0.29	2.886
50	0.98	0.37	0.35	3.563

상기 표에서 보는 바와 같이 일반폭약 중 논문 발표식이나 종합 분석식의 거리별 지발당장약량은 대동소이하나 건교부 제안식의 경우 이들 보다 많은 지발당장약량이 산출된다. 이는 진동 추정식에서 언급한 바와 같이 건교부 제안식은 신뢰수준 50%정도에 해당하는 것으로 추정되기 때문이다.

Fig.6에서 보는바와 같이 건교부 제안식에 의한 지발당장약량 0.25kg에 해당하는 미진동파쇄기의 회당 장약량은 약0.90kg 정도이며, 논문발표식이나 종합 분석식에 의한 지발당장약량 0.25kg에 해당하는 미진동파쇄기의 회당장약량은 약2.50kg 정도에 해당한다. 따라서 건교부 제안식에 따른 미진동파쇄기의 회당 기준 장약량은 (0.18kg+0.90kg)/2로서 평균 0.54kg이며, 논문발표식이나 종합 분석

식에 따른 기준 장약량은 (0.18kg+2.50kg)/2로서 평균 1.34kg정도가 된다.

따라서 미진동파쇄기를 이용한 암반파쇄공법의 실시실제 기준장약량은 공당 0.54kg 정도가 적절할 것으로 판단된다.

7.3 표준 암파쇄패턴

미진동파쇄기를 이용한 암분류별 공당장약량에 따른 표준 암파쇄패턴을 다음과 같이 제시한다. 천공경은 약38~45mm 범위이고, 천공각도는 상부 지표면과 약70°정도 경사 천공한다.

표준 암반파쇄패턴 적용시 자유면을 확실하게 확보해야하고 회당 약2~3공씩 기폭하는 것이 효율적이며, 모암으로부터 파쇄암이 완전분리 이동되므로 안전매트를 반드시 사용해야한다.

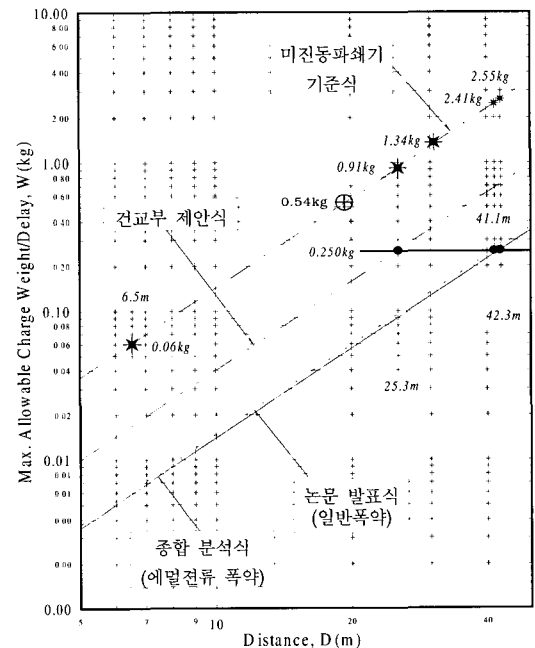


Fig. 6. Max. charge weight per delay with the equations.

7.4 파쇄입도 비율

미진동파쇄기를 이용한 암파쇄굴착공법의 파쇄입도를 예측할 수 있는 식을 제안했으며, 제안한 식이 실제 암반을 파쇄 했을 경우에 크기별 비율이 유사한지를 확인하기 위해 다음과 같은 암반 조건하에서 시험을 실시하였다.

Table 15. 표준 암반파쇄패턴

암분류	공 당 장약량 (kg)	계단 높이 H(m)	천공장 L(m)	공간격 S(m)	최소 저항선 B(m)	비 장약량 (kg/m ³)	비 천공장 (m/m ³)	전색 길이 (m)	장약 길이 (m)
극경암	0.180	1.30	1.45	0.50	0.40	0.692	5.577	1.12	0.33
	0.360	1.60	1.85	0.65	0.50	0.692	3.558	1.19	0.66
	0.540	1.85	2.10	0.75	0.55	0.708	2.752	1.11	0.99
경 암	0.180	1.35	1.50	0.55	0.40	0.606	5.051	1.17	0.33
	0.360	1.70	1.90	0.70	0.50	0.605	3.193	1.24	0.66
	0.540	1.95	2.20	0.75	0.60	0.615	2.507	1.21	0.99
보통암	0.180	1.40	1.60	0.60	0.45	0.476	4.233	1.27	0.33
	0.360	1.75	1.95	0.75	0.55	0.499	2.701	1.29	0.66
	0.540	1.90	2.15	0.90	0.65	0.486	1.934	1.16	0.99
연 암	0.180	1.35	1.55	0.65	0.50	0.410	3.533	1.22	0.33
	0.360	1.75	2.00	0.85	0.60	0.403	2.241	1.34	0.66
	0.540	2.00	2.25	0.95	0.70	0.406	1.692	1.26	0.99
풍화암	0.180	1.45	1.65	0.75	0.55	0.301	2.759	1.32	0.33
	0.360	1.85	2.10	0.95	0.70	0.293	1.707	1.44	0.66
	0.540	1.85	2.10	1.15	0.85	0.299	1.161	1.11	0.99

Table 16. 시험파쇄 설계패턴 및 파쇄입도비율

공 당 장약량 (kg)	계단 높이 H(m)	천공장 L(m)	공간격 B(m)	저항선 S(m)	장약장 (m)	전색장 (m)	비장약량 (kg/m ³)	파쇄입도비율(%)		비고
								직경30cm	직경60cm	
0.360	1.60	1.85	0.75	0.60	0.66	1.19	0.500	47.22	32.31	예측식
								50.50	30.20	실측치
0.180	1.60	1.85	0.75	0.60	0.33	1.52	0.250	55.73	50.84	예측식
0.360	1.60	1.85	0.60	0.75	0.66	1.19	0.500	47.82	36.14	예측치

시험파쇄를 위한 천공치수는 다음과 같다.

Fig.7은 현장에서 암반의 질리가 약4개/m³ 정도였고, Rock Test Hammer의 반발치가 약51~53범위인 보통암 정도의 암반에 Table 16와 같은 천공패턴으로 시험파쇄한 후 분류했던 결과와 제안식에 의한 파쇄입도, 그리고 동일한 패턴에 공당장약량 0.180kg을 장약했을 경우와 공당 0.360kg을 장약하고 저항선과 공간격을 역으로 했을 경우 파쇄입자의 크기에 미치는 영향을 비교한 것이다.

파쇄된 암반의 상태로부터 직경 약30cm 이상의

암량은 약50.5%정도, 직경 약60cm 이상의 암량은 약30.2%로서 측정되었다. 예측식에 의한 파쇄입도 비율에 비해 약2~3%정도 차이를 보인다. 또한 0.180kg을 장약한 경우 직경 약30cm 이상의 암량은 약55.73%정도, 직경 약60cm 이상의 암량은 약50.84%로 예측되고, 0.36kg을 장약하고 공간격과 저항선을 역으로 한 경우 직경 약30cm 이상의 암량은 약47.82%정도, 직경 약60cm 이상의 암량은 약36.14%로 예측된다. 즉 일반적으로 약장약의 경우와 공간격이 저항선보다 작은 경우에 파쇄입자

의 크기는 표준장약과 공간격이 저항선보다 긴 경우에 비해 크게 됨을 알 수 있다.

따라서, 본 제안식은 미진동파쇄기를 이용한 암반파쇄에 있어서 파쇄입도비율을 예측하는데 적용해도 무리는 없을 것으로 판단되며, 표준 암반파쇄 패턴 중 실시설계에 반영할 수 있는 보통암에 공당 0.54kg을 장약하는 경우의 파쇄입자비율은 직경 30cm 이상은 약48.7%, 직경60cm 이상은 약 26.9% 로 예측된다.

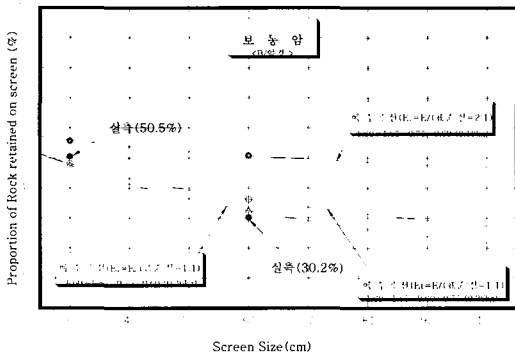


Fig.7 Predicted and actual fragmentation distributions

7.5 현장 적용성

미진동파쇄기를 이용한 암반파쇄굴착공법은 건설교통부 표준발파공법 중 TYPE-1에 해당하는 공법으로서 TYPE-1 영역에 준하는 공법과 비교·분석하였다.

1) 노무비

미진동파쇄기를 이용한 파쇄 노무비가 전해질을 이용한 파암 노무비 보다 저렴하다. 이는 전해질 이용시 전력 충격기 및 발전기의 노무비 부분이 추가 발생되기 때문이다.

약액주입공법의 파암 노무비는 오히려 유압잭의 할암 노무비 보다 저렴하나, 이 금액의 차이보다 약액주입공법은 천공에 필요한 노무비가 더욱 증가되어 높게 된다. 그리고 미진동파쇄기를 이용한 공법은 유압잭을 이용한 할암공법 보다 노무비가 더 저렴하다.

따라서 미진동파쇄기를 이용한 공법의 노무비가 가장 경제적이다.

2) 재료비

미진동파쇄기를 이용한 파쇄 재료비가 전해질을 이용한 파암 재료비 보다 저렴하다. 이는 전해질 이용시 전력충격기 및 발전기의 재료비 부분이 추가 발생되기 때문이다.

유압잭의 할암을 위한 발전기의 재료비가 추가 발생되나 약액주입공법의 파암 재료비가 할암공법의 발전기 재료비보다 월등히 높게 된다. 그리고 미진동파쇄기를 이용한 공법은 유압잭을 이용한 할암공법보다 재료비가 더 저렴하다.

따라서 미진동파쇄기를 이용한 공법의 재료비가 가장 경제적이다.

3) 경비

미진동파쇄기를 이용한 공법이나 전해질을 이용한 공법의 일부공정의 경비는 유사하나, 천공에 필요한 경비는 오히려 미진동파쇄기를 이용한 공법이 전해질을 이용한 공법에 비해 높게 발생된다. 그러나 전해질을 이용한 공법의 전력충격기와 발전기 운용에 따른 추가 발생하는 경비가 천공에 필요한 정보다 높게 되어 미진동파쇄기를 이용한 공법의 경비가 더 저렴하다.

유압잭을 이용한 할암공법의 발전기 사용에 따른 경비가 약액주입공법에 비해 추가되나 약액주입공법의 천공을 위한 경비가 유압잭에 비해 월등히 증가됨으로서 약액주입공법의 경비가 더 높게 된다. 그리고 미진동파쇄기를 이용한 공법은 유압잭을 이용한 할암공법보다 경비가 더 저렴하다.

따라서 미진동파쇄기를 이용한 공법의 경비가 가장 경제적이다.

4) 작업량

1일 작업량은 전해질을 이용한 공법이 미진동파쇄기를 이용한 공법에 비해 약17m³정도 더 파암할 수 있으며, 할암공법은 약액주입공법에 비해 약 11m³정도 더 파쇄할 수 있다. 그리고 미진동파쇄기를 이용한 공법은 할암공법에 비해 약23m³정도 더 파쇄할 수 있다.

5) 거리 및 진동

동일한 압량을 절취하기 위해 표준 약량을 사용하는 경우 미진동파쇄기를 이용한 공법이 전해질을 이용한 공법보다 동일한 거리에 더 낮은 진동이 전달되며, 동일수준의 진동이 전달되는 환산거

리는 미진동파쇄기를 이용한 공법이 전해질을 이용한 공법보다 짧다.

유압재를 이용한 할암공법이나 약액주입공법 적용시 2차 굴착에 따른 진동은 대등소이할 것으로 사료되나 모암으로부터 절취암의 분리 상태를 고려한다면 할암공법은 약액주입공법에 비해 분리되는 상태가 양호하므로 2차 굴착시 모암을 따라 전파되는 진동은 할암공법이 더 경미할 것으로 판단된다.

6) 소음

모암으로부터 암반 절취시 에멀전류 폭약 사용시 소음 발생정도를 “블리”함으로 하는 경우 미진동파쇄기를 사용한 공법이나 전해질을 사용한 공법은 낮은 소음이 발생하므로 소음 발생정도는 우수하나, 대기중에서 미진동파쇄기를 점화하면 연소하는 대신 전해질 반응시에는 폭발(입자가 작을수록)하는 특징이 있다. 그리고 유압재를 이용한 할암공법이나 약액주입공법은 정적인 힘에 의해 균열을 발생시키므로 균열발생시 소음은 무시할 수 있다.

1) 미진동파쇄기를 이용한 암 분류별 및 공당장약량에 따른 암반파쇄의 표준패턴을 결정하였다.

2) 미진동파쇄기를 이용한 암반파쇄공법의 기준 진동 추정식을 도출하였다.

3) 미진동파쇄기를 이용한 암반파쇄공법의 실시 설계 기준장약량은 공당 0.54kg 정도가 적절할 것으로 판단된다.

4) 미진동파쇄기는 일반폭약에 비해 동일한 환산거리에 최소 약2.3배 이상 낮은 진동이 전파되는 특성을 가지고 있는 것으로 판단된다.

5) 미진동파쇄기의 암 분류별 표준비장약량을 산출하는 계산식을 도출하였다.

6) 미진동파쇄기를 사용한 암반파쇄 후 파쇄된 암석입도별 분포를 산출하기 위한 식을 도출하였다.

7) 미진동파쇄기를 이용한 암반파쇄굴착공법은 건교부(안)의 표준발파공법 중 TYPE 1에 해당하는 타 공법에 비해 현장 적용성(시공성과 경제성)이 탁월할 것으로 사료된다.

Table 17. 공법별 현장 적용성

공법분류	경 제 성			시공성		작업공해	
	노무비	재료비	경비	작업량	거리	진동	소음
미진동 파쇄기	●	●	●	◎	○	○	◎
전해질 (프라즈마)	◎	◎	◎	●	△	△	◎
할암공법	○	○	○	○	●	●	●
약액주입	△	△	△	△	◎	◎	●

주) ●:매우우수, ◎:우수, ○:보통, △:블리

참고문헌

1. 양형식, 김원범, 최미진, 장선중, 2004, 노천발파 표준공법의 진동 예상식, 화약·발파(대한화약 발파공학회지), Vol. 22, No. 3, pp. 27-33.
2. 건설교통부, 2003, 암 발파공법 설계 및 시험발파 잠정지침.
3. Konya, C. J. and E. J. Walter, 1990, Surface Blast Design, Prentice-Hall, Inc., pp. 134-136.

8. 결 언

미진동파쇄기(Finecker Plus)를 현지암반에 적용하여 모암으로부터 완전 분리 이동시키는 암반파쇄시험을 실시하여 얻은 결과를 요약하면 다음과 같다.



김 영 군

1995년 전북대학교 자원공학과 공학사
E-mail : mi2sharp@yahoo.co.kr
현재 앤-토비기술사 사무소 기술개발팀장



기 경 철

1972년 조선대학교 자원공학과 공학사
1986년 한양대학교 대학원 자원공학과 공학석사
1997년 강원대학교 대학원 자원공학과 공학박사
E-mail : kkchul@hrdkorea.or.kr
현재 한국산업인력공단 경기 북부지방사무소 소장



김 일 중

1977년 전북대학교 자원공학과 공학사
1982년 전북대학교 대학원 자원공학과 공학석사
1990년 전북대학교 대학원 자원공학과 공학박사
E-mail : intob@magicn.com
현재 앤-토비기술사 사무소 대표